

APLIKASI TEKNOLOGI KENDALI OTOMATIS PADA SISTEM KOAGULASI PENGOLAH LIMBAH CAIR INDUSTRI BERBASIS FUZZY LOGIC CONTROLLER

Bagus Fatkhurrozi

Fakultas Teknik – Universitas Tidar Magelang

ABSTRACT

Personal computer is used as central control in a coagulations system in processing industrial liquid cesspool based on fuzzy logic controller.

Using Moringa Oleifera lam as natural bio-coagulation, it will get results that can make the environment safe and it can't produce chemical compound. It easier to be operated (fuzzy logic is adaptive to wards input variable) from the results of the treatment.

It shows that the data in the sixth Heration system can operate well.

Key Words : *Fuzzy logic controller, Natural Coagulation.*

A. Latar Belakang

Akhir-akhir ini perkembangan aktivitas di bidang industri telah menunjukkan kemajuan yang sangat pesat. Bahkan dengan alih-alih untuk “mengejar” ketertinggalan ekonomi nasional akibat krisis multidimensi, aktivitas industri di kawasan industri Sidoarjo naik eskalasinya mencapai hampir 54% mengalahkan aktivitas ekonomi lainnya (*Kompas: 19, Maret 2002*).

Akibatnya pada realitas lainnya menunjukkan bahwa kenaikan eskalasi tersebut, menimbulkan dampak lingkungan

yang tak kalah pentingnya untuk segera diselesaikan, sampah/limbah industri misalnya. Limbah industri sebagai residu dari setiap proses produksi terdiri dari limbah padat dan cair, biasanya limbah padat berupa sisa-sisa produk yang bersifat solid/padatan. Sedangkan limbah cair bersifat liquid yang berasal dari berbagai macam zat kimia sisa katalistor dari proses produksi (misalnya: senyawa fosfor, nitrogen dan air raksa).

Fuzzy Logic Controller sebagai penemuan kendali otomatis berbasis pada proses penalaran manusia adalah salah satu alternatif dari mekanisme pengontrolan plan, yang diharapkan mampu menjawab penanganan limbah industri yang kian menampakkan dampaknya bagi lingkungan sekitar. Dengan menggunakan logika samar sebagai karakter dari logika fuzzy, plant diatur sedemikian rupa sehingga alat yang didesain dapat bersifat adaptif terhadap parameter yang dimasukkan sebagai inputan.

B. Perumusan Masalah

Salah satu jenis limbah yang bersentuhan langsung dengan kebutuhan pokok manusia yaitu limbah cair. Limbah ini sangat rentan terhadap timbulnya penyakit antara lain: kolera, lepra, malaria, trakhoma, polio, penyakit pernafasan, muntaber, penyakit kulit dan yang berkenaan dengan pencernaan, karena air merupakan medium yang sangat cocok dan terbuka bagi bibit patogen seperti virus maupun bakteri untuk berkembang biak. Tak cukup itu saja bahkan limbah cair juga sering memberi kontribusi negatif terhadap kesuburan tanah pertanian sekitar kawasan industri, karena bersifat asam.

Dari berbagai permasalahan yang muncul, maka dapat

dirumuskan permasalahan yang perlu segera dicarikan solusinya yaitu: bagaimana cara pengolahan limbah pada sistem koagulasi melalui perangkat pengolah limbah yang mudah pengoperasiannya, terjangkau harganya bahkan mampu mereduksi efek turunan dari limbah itu sendiri.

C. Ruang Lingkup

Agar lebih terfokus maka dalam penelitian ini, permasalahan dibatasi pada penerapan perangkat pengolah limbah hanya pada limbah cair; tidak membahas proses pengolahan limbah lainnya seperti floagulasi dan filtrasi kimiawi secara mendetail kecuali yang berkenaan dengan penerapan metode koagulasi; penerapan Fuzzy Logic pada kontrol koagulasi dengan menggunakan sensor kejernihan.

D. Landasan Teori

1. Pengolahan Limbah Cair Pada Metode Koagulasi

Pengolahan Limbah cair dimaksudkan untuk mendapatkan air yang bersih dan sehat yang layak untuk dikonsumsi.

Pengolahan limbah ini melalui beberapa tahap, yaitu:

a. Sedimentasi.

Sedimentasi merupakan proses pengendapan bahan padat dari air olahan. Proses sedimentasi bisa terjadi bila air limbah mempunyai berat jenis lebih besar daripada air sehingga mudah tenggelam. Prinsip sedimentasi adalah pemisahan bagian padat dengan memanfaatkan gaya gravitasi sehingga bagian yang padat berada di dasar tempat pengendapan sedangkan air murni di atas.

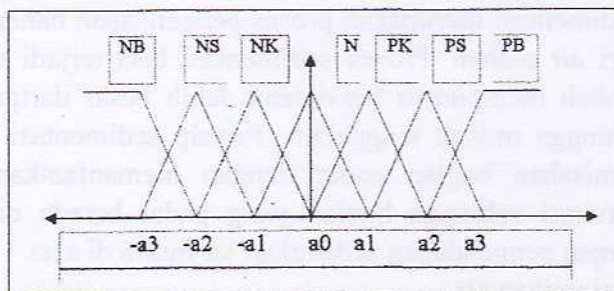
b. Penjernihan air.

Untuk menjernihkan air kita bisa menggunakan bahan

alami/ biokoagulan yaitu biji kelor (*Moringa oleifera Lam*) yang tidak mempengaruhi konfigurasi senyawa kimia air. Menurut Folkard (1990), kandungan karbohidrat dan protein dalam biji kelor mempunyai sifat koagulasi / dapat mengikat partikel tersuspensi dalam air. Lebih lanjut Greshoff dalam Heyne (1987), mengatakan bahwa terdapat kandungan alkaloid dalam biji kelor yang berfungsi sebagai biokoagulan. Adapun efektifitas biji kelor ini dalam fungsi biokoagulan alami akan meningkat dengan dicampur alum, dengan perbandingan 5:1.

2. Logika Fuzzy Untuk Sistem Kendali Proses Koagulasi

Beberapa istilah yang digunakan dalam pengendalian kontrol sistem koagulasi antara lain: Negatif Besar (NB), Negatif Sedang (NS), Negatif Kecil (NK), Nol (N), Positif Kecil (PK), Positif Sedang (PS), dan Positif Besar (PB) yang digunakan sebagai basis data untuk mengatur lamanya klep elektrik menyala. Dari dua pengkondisian ini logika fuzzy akan mengubahnya kedalam model matematis sehingga dapat diproses lebih lanjut untuk dapat diterapkan dalam sistem kendali.



Gambar 1. Fungsi keanggotaan fuzzy logic

Tabel 1. FAM (*Fuzzy Associate Memory*)
Keputusan Pengendalian *Fuzzy Logic Controller*

| E/CE | NB | NS | NK | N | PK | PS | PB |
|------|----|----|----|----|----|----|----|
| PB | PB | PB | PB | PB | PB | PB | PB |
| PS | PB | PB | PB | PS | PB | PB | PB |
| PK | PB | PB | PS | PK | PS | PB | PB |
| N | PB | PS | PK | N | PK | PS | PB |
| NK | PB | PB | PS | PK | PS | PB | PB |
| NS | PB | PB | PB | PS | PB | PB | PB |
| NB | PB | PB | PB | PB | PB | PB | PB |

Menggunakan teori himpunan fuzzy, logika bahasa diwakili oleh sebuah daerah yang mempunyai jangkauan tertentu yang menunjukkan derajat keanggotaannya. Untuk kasus ini, sebut saja derajat keanggotaan itu adalah $u(x)$ untuk x adalah kadar kepekatan atau kekeruhan air. Derajat keanggotaan tersebut mempunyai nilai yang bergradasi sehingga mengurangi lonjakan pada sistem.

Sistem pengendalian fuzzy yang akan dirancang mempunyai satu masukan dan satu keluaran. Masukan adalah kadar kekeruhan air atau limbah cair dan keluaran berupa kendali klep. Masukan berupa himpunan kekeruhan air limbah oleh logika fuzzy diubah menjadi fungsi keanggotaan masukan dan fungsi keanggotaan keluaran (lama klep elektronik menyala).

Bentuk fungsi keanggotaan dapat diatur sesuai dengan distribusi data kepekatan air. Menerapkan logika fuzzy dalam sistem pengendalian, membutuhkan tiga langkah: (a) fusifikasi (*fuzzyfication*) adalah proses mengubah masukan eksak berupa kadar kekeruhan air limbah menjadi masukan fuzzy berupa

derajat keanggotaan $u(x)$, (b) evaluasi kaidah: Kaidah-kaidah yang akan digunakan untuk mengatur kadar kekeruhan air ditulis secara subjektif dalam tabel *fuzzy associate memory* (FAM), yang memuat hubungan antara masukan dan keluaran, dan (c) defusifikasi (*defuzzification*): setelah diperoleh keluaran fuzzy, proses diteruskan pada defusifikasi. Proses ini bertujuan untuk mengubah keluaran fuzzy menjadi keluaran eksak (lama nyala klep elektronik).

E. Perangkat Keras dan Perangkat Lunak

Bagian ini menjelaskan perencanaan dan realisasi kontrol sistem koagulasi pada pengolah limbah cair. Pembuatan piranti ini meliputi perancangan perangkat keras dan perangkat lunak

1. Perangkat Keras.

Piranti pengolah limbah cair ini direncanakan untuk mendukung fungsi-fungsi berikut: -

- Mendeteksi derajat kejernihan limbah cair
- Mengatur besarnya volume bahan penjernih yang diinjeksikan pada limbah cair
- Perlakuan pengendapan terhadap limbah

Pemenuhan fungsi-fungsi tersebut tertuang pada Gambar dibawah berupa diagram blok dengan beberapa bagian utama, seperti pada gambar di bawah:



Gambar 2. Diagram blok kendali koagulasi pada pengolah

limbah cair industri

a. Bagian Transduser dan Penguat

Bagian ini berfungsi untuk mengubah besaran fisis (cahaya) menjadi besaran listrik yaitu tegangan. Sedangkan penguat berfungsi untuk menguatkan tegangan agar dapat diolah untuk bagian berikutnya.

b. Bagian ADC

Bagian ini berfungsi untuk mengubah perubahan tegangan yang bersifat analog menjadi tegangan digital.

c. Bagian antarmuka PPI 8255

Bagian ini berfungsi sebagai penghubung antara dunia luar dengan personal computer. Dimana kelebihan dari PPI 8255 merupakan piranti antarmuka yang dapat diprogram secara software untuk memproses data secara paralel.

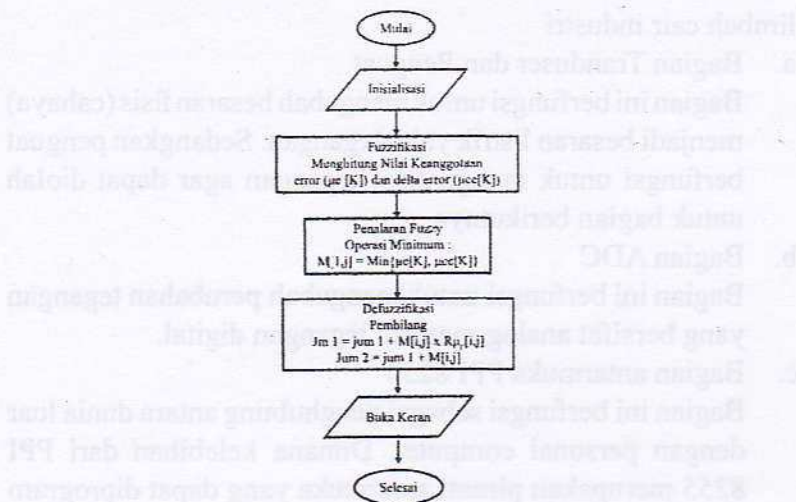
d. Bagian Driver

Bagian ini berfungsi untuk mengendalikan output sesuai dengan referensi, yang terdiri dari controller asam dan basa, controller kejernihan air, aerasi, filtrasi dan sebagai pemindah otomatis antar blok dalam pengolahan limbah.

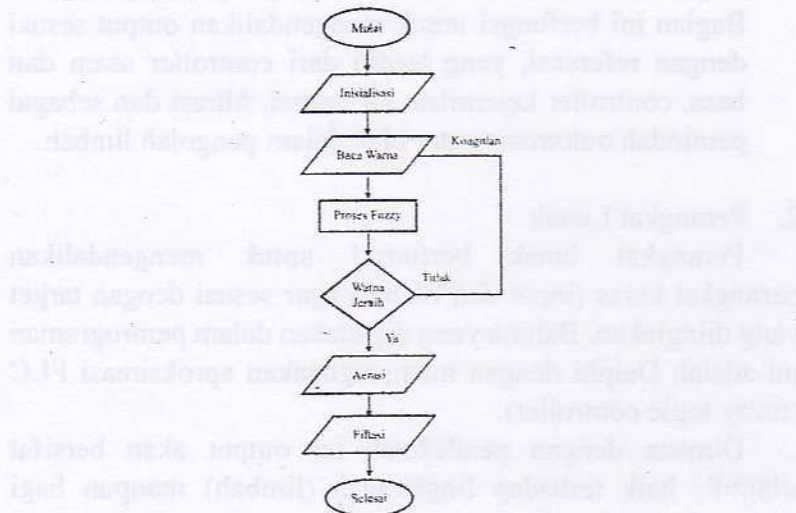
2. Perangkat Lunak

Perangkat lunak berfungsi untuk mengendalikan perangkat keras (input dan output) agar sesuai dengan target yang diinginkan. Bahasa yang digunakan dalam pemrograman ini adalah Delphi dengan mempergunakan aproksimasi FLC (fuzzy logic controller).

Dimana dengan pendekatan ini output akan bersifat adaptif baik terhadap lingkungan (limbah) maupun bagi *human resources*.



Gambar 3. Flow chart software untuk kontrol koagulasi



Gambar 4. Flow chart software untuk pengolahan limbah cair

F. Hasil Penelitian

Hasil penelitian didapatkan dengan menguji sistem yang dilakukan dengan dua pendekatan, yaitu pengujian secara perangkat keras dan pengujian secara perangkat lunak. Pengujian secara hardware adalah untuk mengetahui apakah sistem *hardware* dapat bekerja sesuai dengan fungsi yang diharapkan dan mengetahui prosentase error dari pengolah limbah untuk dijadikan referensi pada tahapan pengolahan limbah berikutnya. Pengujian software dilakukan untuk mengetahui apakah pada tahap pengambilan keputusan untuk penanganan limbah cair sudah dapat dikategorikan bersih atau belum.

1. Pengujian perangkat keras.

a. Sensor kejernihan air

Sensor kejernihan air yang digunakan adalah fotodioda dengan keluaran berupa tegangan dalam V sebanding intensitas cahaya yang dikeluarkan oleh LED sebagai sumber cahaya. Fotodioda dibuat dengan menggunakan jendela kecil untuk membuka *junction* agar terkena sinar. Jika cahaya luar mengenai *junction* fotodioda yang dibias *reverse*, akan menghasilkan pasangan *elektron-hole* dalam lapisan pengosongan. Makin kuat cahaya, makin banyak jumlah pembawa yang dihasilkan cahaya dan makin besar arus *reverse*. Sehingga keluarannya dapat diukur dengan Avometer dan hasilnya dapat dilihat pada tabel 4.1 berikut:

Tabel 1. Hasil pengukuran nilai sensor kejernihan air dan tegangan keluarannya

| No | Nilai Sensor Kejernihan Air | Tegangan Out Put (mV) |
|----|-----------------------------|-----------------------|
| 1 | Sangat Keruh | 55,8 - 57,2 |
| 2 | Keruh | 73,5 - 75,9 |
| 3 | Agak Keruh | 86,7 - 167,4 |
| 4 | Jernih | 176,8 - 180,7 |
| 5 | Sangat Jernih | 182,5 - 194,5 |

b. Rangkaian penguat inverting

IC Op-Amp yang digunakan di sini adalah IC Op-Amp LM 741. Op-Amp ini memerlukan catu maksimum sampai ± 22 Vdc. Perancangan alat di sini menggunakan catu +12 Volt, -12 Volt dc dan *ground*.

Karena tegangan keluaran sensor kejernihan kecil dalam satuan mV maka pemakaian IC Op-Amp ini dipandang sangatlah penting digunakan untuk menguatkan sinyal analog sebagai masukan ke ADC nantinya.

Penguatan yang dikehendaki adalah penguatan sebesar 10 kali dengan harapan untuk mendapatkan ketelitian yang tepat sebanding dengan keluaran dari sensor kejernihan. Konfigurasi Op-Amp yang digunakan adalah Op-amp sebagai penguat Inverting. Keluaran dari sensor kejernihan air dan penguatan oleh IC LM 741 dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 2. Keluaran sensor kejernihan air dan op-amp

| No | Keluaran Sensor Kejernihan Air | Keluaran Op-Amp |
|----|--------------------------------|-----------------|
| 1 | 55,8 mV | -0.558 V |
| 2 | 73,5 mV | -0.745 V |
| 3 | 86,7 mV | -0.856 V |
| 4 | 176,8 mV | -1.768 V |
| 5 | 182,5 mV | -1.815 V |

c. Rangkaian pengikut tegangan

Rangkaian op-amp di sini digunakan sebagai pengikut tegangan (*voltage follower*), di mana keluaran rangkaian sensor dimasukkan ke Op-Amp maka hasil keluarannya harus sama dengan masukannya. Fungsi dari rangkaian Op-Amp ini adalah agar tidak terjadi penurunan sekaligus pembalik tegangan yang akan dimasukkan ke ADC. Berikut hasil pengukuran tegangan output pengikut tegangan dari Op-amp LM 741:

Tabel 3. Hasil pengukuran tegangan keluaran pengikut tegangan

| No | Sensor Kejernihan Air | |
|----|-----------------------|---------|
| | Vin | Vout |
| 1 | -0,558 V | 0,558 V |
| 2 | -0,745 V | 0,745 V |
| 3 | -0,856 V | 0,856 V |
| 4 | -1,768 V | 1,768 V |
| 5 | -1,815 V | 1,815 V |

d. Pengujian rangkaian ADC 0804

Pengujian ADC bertujuan untuk mengetahui ketepatan pengkonversian terhadap besarnya tegangan analog yang dihasilkan sensor. Pengujian ini dilakukan dengan cara mengatur besarnya resistor variabel sehingga rangkaian penguat menghasilkan penguatan 10 kali. Keluaran sensor diukur dengan Voltmeter. Untuk mengaktifkan ADC, pena START (PC_2) dan ALE (PC_3) diberi masukan kontrol dari PPI 8255 dengan mengirimkan logika 1. Pada waktu Konversi Sinyal EOC menunjukkan logika 1 dan setelah konversi selesai, pena EOC akan memiliki logika 0. OE (*output enable*) diberi logika 1 agar data hasil konversi dikeluarkan yaitu, menghubungkan dengan tegangan +5 Volt memiliki logika 1, sehingga hasil pengkonversian akan ditampilkan pada LED peraga.

Dari perencanaan rangkaian ADC, untuk masukan analog 0 Volt, ADC akan menghasilkan data biner 00000000. Untuk setiap kenaikan tegangan masukan analog pada ADC sebesar 20 mV, keluaran ADC akan naik 1 bit. Hasil pengujian ADC dapat dilihat dalam tabel 4.

Tabel 4. Pengujian ADC

| No | Tegangan analog (Volt) | Data Biner Keluaran |
|----|------------------------|---------------------|
| 1 | 0,0 | 00000000 |
| 2 | 1,04 | 00011010 |
| 3 | 1,08 | 00011011 |
| 4 | 1,12 | 00011100 |
| 5 | 1,16 | 00011101 |

Tabel 5. Hasil pengukuran tegangan keluaran ADC

| No. | Sensor Kejernihan Air | | | | | | | | |
|-----|-----------------------|------|---|---|---|---|---|---|---|
| | Vin | Vout | | | | | | | |
| 1 | +5 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 2 | +4.6 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 3 | +3.7 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 4 | +2.3 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 5 | +1.1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 |

e. Pengujian rangkaian penggerak relay.

Untuk mengetahui cara kerja relay, dengan cara memberi masukan tegangan pada relay sesuai dengan taraf tegangan keluaran PPI. Masukan relay diberi tegangan +5 V dan 0 V. Sebelumnya, masukan pada relay diberi voltmeter guna mengetahui besarnya tegangan yang diberikan. Keluaran setelah relay dipasang voltmeter untuk mengetahui hasil keluaran dari relay. Hasil pengujian relay dapat dilihat pada tabel 4.6 berikut ini.

Tabel 6. Hasil Pengujian Relay

| Tegangan Masukan | Saklar |
|------------------|----------|
| +5 Volt | Tertutup |
| 0 Volt | Terbuka |

f. Pengujian Interface (PPI)

Pengujian PPI dilakukan dengan mengaktifkan semua port pada PPI sebagai keluaran (CW 80_h). Port A, port B dan

port C diisi FF (data dengan logika tinggi) dan dihubungkan dengan LED peraga dan menunjukkan data sesuai dengan tabel berikut :

Tabel 7. Pengujian PPI 8255

| Port PPI | Tampilan LED | | | | | | | |
|----------|--------------|----|----|----|----|----|----|----|
| | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| Port A | ON | ON | ON | ON | ON | ON | ON | ON |
| Port B | ON | ON | ON | ON | ON | ON | ON | ON |
| Port C | ON | ON | ON | ON | ON | ON | ON | ON |

g. Pengujian Perangkat Lunak

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kinerja perangkat lunak dalam mengoperasikan perangkat keras agar diperoleh output yang diinginkan dalam hal ini adalah air yang jernih /tergradasi partikel suspensinya.

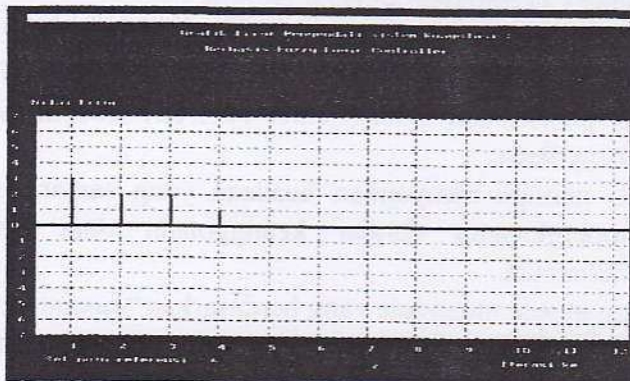
Tabel 8. Pengujian FLC Sebagai Pengendali Derajat Kejernihan Air

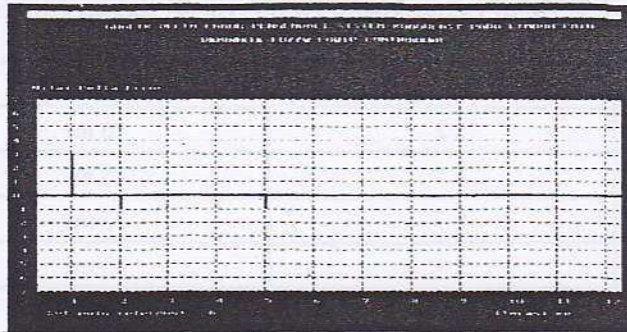
| Iterasi ke- | Limbah | Input (dengan ref = 6) | | Output | Keterangan |
|-------------|--------|------------------------|-------------|--------|-------------|
| | | Error | Delta Error | | |
| 1 | 2,18 | 3,82 | 3,82 | 24,25 | Keruh |
| 2 | 3,37 | 2,63 | -1,06 | 5,57 | Keruh |
| 3 | 3,24 | 2,76 | 0,13 | 9,91 | Keruh |
| 4 | 4,03 | 1,97 | -0,79 | 7,93 | Agak Jernih |
| 5 | 5,43 | 0,57 | -1,40 | 3,51 | Agak Jernih |
| 6 | 6,00 | 0,00 | -0,57 | 0,00 | Jernih |

Tabel 9. Hasil Pengukuran Debit Aliran Saklar Elektrik

| No | Waktu (s) | Debit Aliran |
|----|-----------|--------------|
| 1 | 2 | 10 ml |
| 2 | 5 | 25 ml |
| 3 | 7 | 35 ml |
| 4 | 9 | 45 ml |
| 5 | 10 | 50 ml |

Dari hasil pengujian perangkat lunak didapatkan bahwa keluaran (*output*) sebesar 0,00 yang menunjukkan bahwa air menjadi jernih setelah 6 iterasi. Dengan demikian alat pengontrol sistem koagulasi pada pengolah limbah cair terpadu secara otomatis yang berbasis *fuzzy logic controller* (FLC) telah bekerja dengan baik.

Gambar 5. Grafik error pengendali sistem koagulasi berbasis *fuzzy logic controller*



Gambar 6. Grafik delta error pengendali sistem koagulasi berbasis *fuzzy logic controller*

G. Simpulan

Dari perencanaan dan pembuatan alat pengontrol sistem koagulasi pada pengolah limbah cair terpadu secara otomatis, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Dalam penelitian ini, input FLC terdiri dari dua input yaitu error (e) dan delta error (de), satu output (debit aliran), 49 rulebase, dan COA (*Center of Area*) sebagai metode defuzzyfikasi.
2. FLC mampu menyajikan keadaan yang samar dengan mempergunakan derajat keanggotaan dari semesta pembicaraan.
3. Dengan penentuan rule yang berdasarkan "*human expert*", FLC sebagai pengendali sistem titrasi pada limbah cair industri mampu mengontrol proses koagulasi pada pengolah limbah cair industri sesuai dengan kriteria yang diharapkan.
4. Dengan tingkat penalaran yang akurat, FLC ternyata